
TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika

Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy

**Vliv termoemise na velikost síly při Biefeld-Brownově
efektu**

**Influence of thermionic emission on the magnitude of
the force during the Biefeld-Brown effect**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor:	Martin Kubáň
Vedoucí práce:	Ing. Bc. Jiří Primas
Konzultant:	Ing. Bc. Michal Malík

V Liberci 14. 5. 2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Kubáň**
Osobní číslo: **M09000070**
Studijní program: **B 2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronické informační a řídicí systémy**
Název tématu: **Vliv termoemise na velikost síly při Biefeld-Brownově efektu**
Zadávací katedra: **Ústav řízení systémů a spolehlivosti**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou termoemise obecně a připravte hypotézu o jejím vlivu na velikost síly při Biefeld-Brownově efektu.
2. Navrhněte a zrealizujte zařízení pro měření síly při různých teplotách tenké elektrody.
3. Zhodnoťte vliv termoemise na velikost vznikající síly.
4. Z pozorovaných závislostí učiňte závěry v souladu s teoretickým podkladem Biefeld-Brownova efektu.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat osobám, které mi pomohly při tvorbě mé bakalářské práce. Na prvním místě bych chtěl poděkovat panu Ing. Bc. Jiřímu Primasovi, který mi pomohl svými radami, zkušenostmi a dokázal mi velice přehledně a podrobně podat vysvětlení některých složitějších fyzikálních principů. Rád bych také poděkoval panu Ing. Bc. Michalovi Malíkovi, který mi svými zkušenostmi, radami a odborným dohledem při měření velice pomohl. Děkuji jim hlavně za jejich obětavost a za perfektní rozvržení mé bakalářské práce do celého roku studia.

Abstrakt

Cílem mojí bakalářské práce je prozkoumat, jaký vliv má termoemise na velikost síly vznikající na vysokonapěťovém kondenzátoru s asymetrickými elektrodami. Hlavně jsem se zaměřil na tenkou elektrodu, kterou jsem žhavl pomocí protékajícího proudu pomocí plovoucího zdroje proudu. V rešerši jsem shrnul poznatky a nejdůležitější pojmy. Převážně to byly druhy ionizací a typy výbojů týkající se Biefeld-Brownova efektu. V další části mojí bakalářské práce jsem vypracoval svůj úsudek o očekávaném výsledku z mého měření. Vytvořil jsem zařízení pro změnu průtoku elektrického proudu, které jsem používal pro žhavení a vyvolání termoemise tenké elektrody. Dále jsem vytvořil model, na kterém jsem mohl vytvořit pomocí vysokého napětí Biefeld-Brownův efekt. V závěru své práce jsem zhodnotil vliv termoemise na velikost vznikající síly a učinil jsem závěry v souladu s teoretickými podklady Biefeld-Brownova efektu.

Klíčová slova

Biefeld-Brownův efekt, termoemise, ionizace.

Abstract

The aim of my bachelor thesis is to examine the influence of thermoemission on the forces generated by a high-voltage capacitor with asymmetrical electrodes. Mainly I focused on the thin electrode, which I heated up with current from a floating current source. In the theoretical part of my work I have described among other themes the types of ionization and the types of electric discharges connected with the Biefeld-Brown effect. In the next part of my thesis I included my judgement about the expected results from the measurements. I built a secondary circuit connected to the thin electrode, which served the purpose of heating said electrode and creating the thermoemission on that electrode. I also built a model of an asymmetrical capacitor and by applying high voltage to it, a measurable mechanical force originated on the capacitor (this is called the Biefeld-Brown effect). At the end of my work I have summarized the influence of thermoemission on the magnitude of the originating force and from my findings I have made conclusions in accordance with the theoretical basis of the Biefeld-Brown effect.

Keywords:

Biefeld–Brown effect, thermoemission, ionisation.

Obsah

Prohlášení	3
Poděkování	4
Abstrakt	5
Klíčová slova.....	5
Abstract.....	6
Keywords.....	6
Úvod	8
1. Rešerše	9
1.1. Základní pojmy	9
1.2. Vysokonapěťový asymetrický kondenzátor	12
1.3. Výboje v plynech.....	14
2. Můj úsudek.....	23
3. Tvorba přípravku a měření.....	23
3.1. Konstrukce regulátoru teploty drátku	23
3.2. Konstrukce modelu pro měření síly Biefeld-Brownova efektu	28
3.3. Měření vznikající síly při Biefeld-Brownově efektu v závislosti na změně teploty drátku	32
3.4. Naměřené hodnoty	34
4. Závěr	36
Použitá literatura.....	37
Použité obrázky	38
Použité vzorce	41

Úvod

Bakalářskou práci na téma vliv termoemise na velikost síly při Biefeld-Brownově efektu jsem si vybral proto, že mě tato problematika již v minulosti zajímala. Téma na bakalářskou práci jsem si vymyslel sám, protože jsem již v minulosti měl s Biefeld-Brownovým efektem jisté zkušenosti.

I když jsem byl seznámen s její složitostí a byla mi místo ní nabídnuta práce jiná, zvolil jsem si právě tuto, protože mě tato oblast velice zajímá. Ačkoli má dnes Biefeld-Brownův efekt minimální využití a používá se hlavně k manévrování družic, myslím si, že jeho využití bude do budoucna určitě větší. A to hlavně díky jednoduchosti konstrukce tohoto zařízení a téměř nulovému opotřebení použitého materiálu.

Cílem této bakalářské práce je zkonstruovat zařízení vhodné pro měření síly Biefeld-Brownova efektu, které bude moci regulovat teplotu tenké elektrody a tím zkoumat závislost velikosti síly na teplotě tenké elektrody.

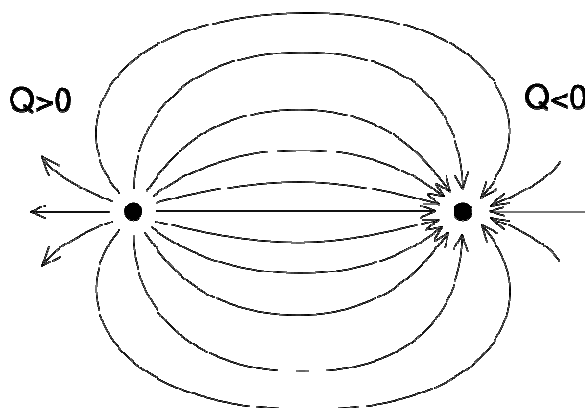
1. Řešení

1.1. Základní pojmy

Elektrické pole

Elektrické pole je fyzikální pole, v němž se projevují silové účinky elektrických nábojů. Tvar elektrického pole je určen tvarem zdroje elektrického pole. Velikost síly, kterou se dva náboje přitahují, je definována Coulombovým zákonem (viz obr. č. 1), kde F je síla, která působí mezi dvěma bodovými náboji Q_1 a Q_2 , ε_0 je permitivita vakua, ε_r je relativní permitivita prostředí a r je vzdálenost dvou bodových nábojů. Směr síly je dán polaritou nábojů [2, 4]:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r} \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{r^2}. \quad (1)$$



Obr. č. 1: Elektrické pole dvou nesouhlasných nábojů

Elektrické intenzita

Elektrická intenzita je veličina, která je definována jako síla, která působí na jednotkový kladný náboj v daném místě pole:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{Q}. \quad (2)$$

Směr vektoru elektrické intenzity je dán směrem působící elektrické síly. Orientace elektrické intenzity je daná tak, že elektrická intenzita směřuje od tělesa s kladným nábojem k tělesu se záporným nábojem [2].

Dielektrika

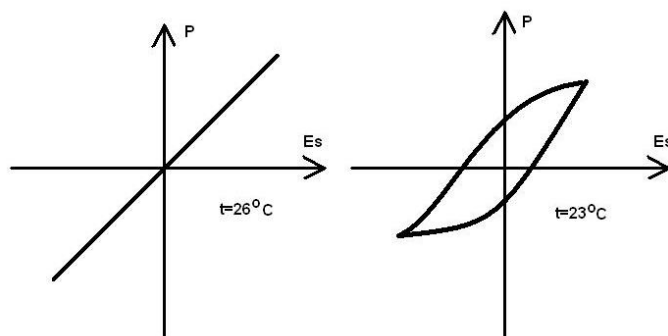
Dielektrika jsou elektricky nevodivé látky. Neobsahují žádné volné elektrické náboje, a proto se jeví navenek jako elektro-neutrální. Vnější elektrické pole na částice dielektrika působí, a tím je ovlivňováno rozložení náboje v dielektriku. Vložením dielektrika do elektrického pole dochází k polarizaci dielektrika. Dielektrika lze dále rozdělit podle toho, jakým způsobem polarizace daného dielektrika probíhá:

a) **Nepolární dielektrika** – jejich struktura je taková, že „těžiště“ kladných i záporných nábojů vzájemně splývají. Pokud vložíme takovéto dielektrikum do elektrického pole, dojde k vzájemnému posunu „těžišť“ kladných a záporných nábojů (tedy kladně nabitého atomového jádra vzhledem k záporně nabitému elektronovému obalu) do určité vzdálenosti, čímž se z nepolární částice stane elektrický dipól. Ten se v elektrickém poli natočí vždy tak, aby ležel ve směru intenzity vnějšího pole. Tento typ polarizace bývá také někdy označován jako polarizace atomová nebo elektronová. Mezi typické zástupce této skupiny patří např. dusík nebo kyslík.

b) **Polární dielektrika** – částice polárních dielektrik mají nenulový dipólový moment i v nepřítomnosti vnějšího elektrického pole. Částice dielektrika jsou obvykle tvořeny kladnými a zápornými ionty. Tyto částice se při přiložení vnějšího elektrického pole orientují ve směru elektrického pole. Tento druh polarizace se nazývá iontovou nebo orientační polarizací. Do této skupiny dielektrik patří např. voda, některé organické molekuly, apod. Vlastní dipólové momenty polárních dielektrik jsou o několik řádů větší než navozené momenty dielektrik nepolárních.

c) **Feroelektrika** – některé látky jako např. titaničitan barnatý BaTiO_3 nebo fosforečnan draselný KH_2PO_4 se vyznačují nejen vysokými hodnotami relativní permitivity, ale hlavně tím, že se v elektrickém poli chovají obdobně jako feromagnetické látky v poli magnetickém. Při teplotách vyšších než je Curieův bod mají tyto látky konstantní susceptibilitu a jejich polarizace je úměrná intenzitě vnějšího elektrického pole. Při teplotách nižších ale susceptibilita závisí na vnějším elektrickém poli a pozorujeme elektrickou hysterezi, která se při kruhové změně budícího elektrického pole projeví hysterezní smyčkou. Na obr. č. 2 vidíme graf závislosti polarizace na intenzitě budícího elektrického pole pro Seignettovu sůl

(vinan sodno-draselný $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) nad Curieovým bodem (a) a pod Curieovým bodem (b).



Obr. č. 2: Graf závislosti polarizace Seignettovy soli na vnějším elektrickém poli nad kritickou teplotou (a) a pod kritickou teplotou (b) [2]

Permitivita

Permitivita vyjadřuje vztah mezi elektrickou indukcí D a elektrickou intenzitou E v tomtéž bodě pole. Pro popis dielektricky dokonale měkkého prostředí platí:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}. \quad (3)$$

Relativní permitivita

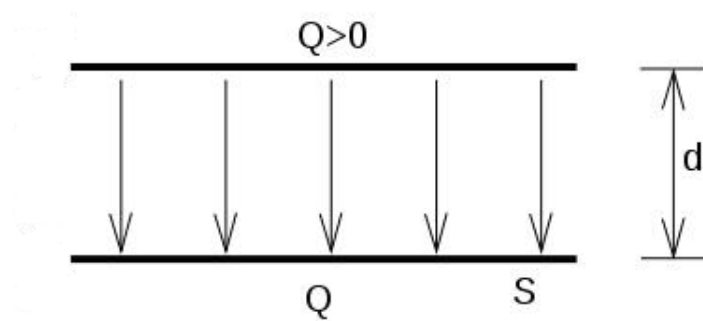
Relativní permitivita je skalární veličina vyjadřující, jak se na zeslabení silových účinků elektrického pole vzhledem k vakuu podílí prostředí. Pro vakuum je $\epsilon_r = 1$, takže $\epsilon_r \geq 1$ pro libovolné izotropní prostředí a platí [1]:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}, \quad (4)$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 E_0 = \epsilon \vec{E}. \quad (5)$$

Kondenzátor

Kondenzátor je dvojpólová součástka konstruovaná takovým způsobem, aby vykazovala kapacitu definované velikosti. Je tvořena dvěma vodivými elektrodami (viz obr. č. 3), které jsou od sebe odděleny dielektrikem.



Obr. č. 3: Deskový kondenzátor

Kapacita

Elektrická kapacita C vyjadřuje schopnost vodivých těles shromažďovat elektrický náboj. Je definována takto:

$$C = \frac{Q}{\varphi}, \quad (6)$$

kde Q je hodnota elektrického náboje a φ je hodnota elektrického potenciálu na povrchu daného tělesa. Elektrická kapacita je vlastností každého vodiče, ale využívá se především u kondenzátorů. Zde místo potenciálu φ na povrchu tělesa uvažujeme rozdíl potenciálů (tedy napětí) mezi elektrodami [4]:

$$C = \frac{Q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{Q}{U}. \quad (7)$$

1.2. Vysokonapět'ový asymetrický kondenzátor

Biefeld-Brownův efekt byl objeven v roce 1921. Thomas Townsend Brown experimentoval s Rentgenovou trubicí (ve které jsou dvě asymetrické elektrody) a pozoroval dosud nepopsanou sílu, která pohybovala celou trubicí. Experimentům s touto silou a jejímu popsání zasvětil T. T. Brown většinu svého života [5].

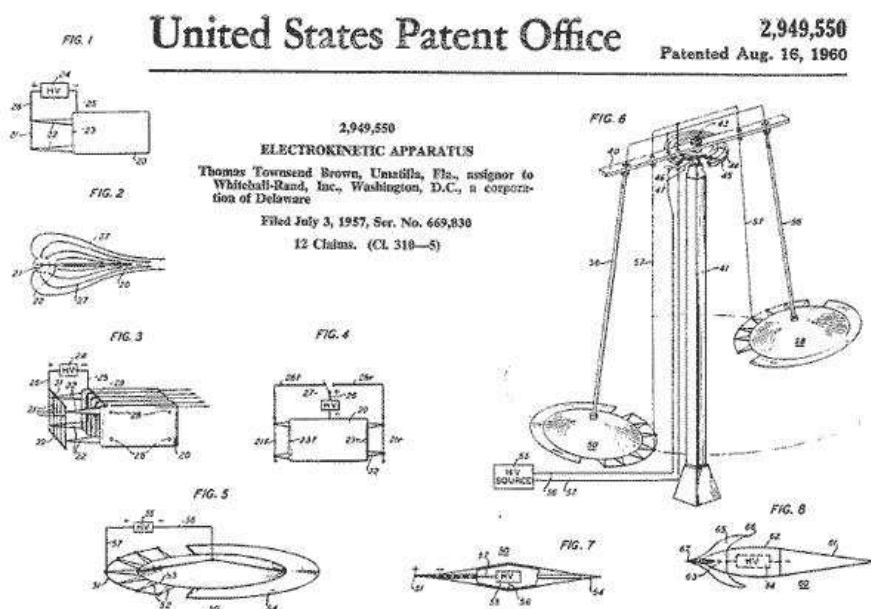
Biefeld-Brownův efekt lze nejlépe prezentovat na zařízení, které lze označit jako vysokonapět'ový asymetrický kondenzátor, často se také používá název elektro-kinetické zařízení nebo také LIFTER.

Základem každého elektro-kinetického zařízení jsou dvě elektrody. Jedna je menší, druhá větší. Poté, co je k elektrodám připojeno vysoké napětí, začne zařízení vykazovat vznik malé síly v řádu přibližně mN působící na celé zařízení ve směru od větší elektrody k menší (viz obr. č. 4).



Obr. č. 4: Schéma kondenzátoru a směr vznikající síly

Elektro-kinetické zařízení má mnoho podob. Na obr. č. 5 vidíme, jak vypadal jeden z modelů, který byl patentován roku 1960 T. T. Brownem.



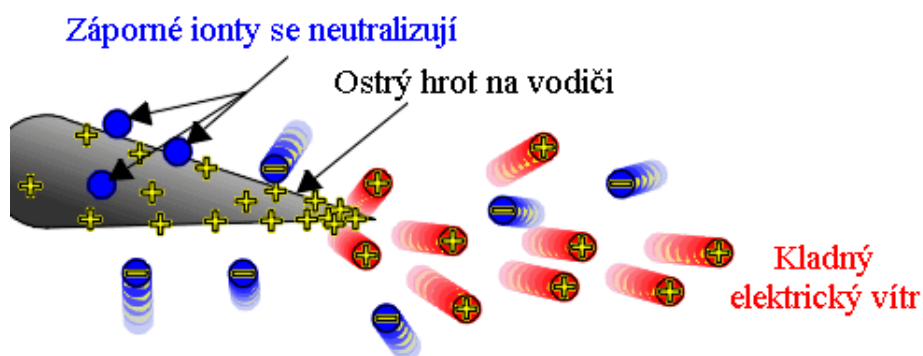
Obr. č. 5: Model elektro-kinetického zařízení, které bylo patentováno v [11]

Využití:

Největší využití, kde by se mohl Biefeld-Brownův efekt uplatnit, je pohon. NASA prováděla několik experimentů (v roce 2002) s využitím Biefeld-Brownova efektu pro manévrovací pohon družic [3]. Praktické využití ale komplikuje nutnost použít velmi vysokého napětí a malá efektivita [6].

Iontový vítr

Tento jev souvisí se vznikem síly při Biefeld-Brownově efektu. Pokud je k tělesu připojeno elektrické napětí, pak největší intenzita elektrického pole je právě v okolí ostrých hran nebo hrotů. Pokud napětí stoupne natolik, že začne vznikat ionizace molekul okolního vzduchu, začnou vznikat kladné, nebo záporné ionty. Kladné ionty mají stejný náboj jako je náboj hrotu. Proto dochází k jejich odpuzování od hrotu, přičemž sebou strhávají i okolní molekuly, a tak vzniká elektrický vítr. Tím, jak jsou ionty vždy odraženy od hrotu, dochází k předání jejich impulsu hrotu, a proto na hrotu vzniká síla opačného směru. Opačně nabité ionty se k hrotu přibližují a neutralizují se. Mechanismus vzniku je vidět na obrázku [4].



Obr. č. 6: Vznik iontového větru na ostrých hranách

1.3. Výboje v plynech

Elektrická pevnost

Je to charakteristický znak elektroizolačních materiálů. Vyjadřuje odolnost materiálu vůči elektrickému poli. Pokud hodnota intenzity elektrického pole vzroste natolik, že dojde k

tzv. průrazu, pak se tento materiál stává vodivým. Pokud je izolant opatřen elektrodami, pak se jedná o minimální napětí, při němž nastane průraz.

Elektrická pevnost u vzduchu

Vzduch v neutrálním stavu, na který nepůsobí žádné vnější vlivy, nevede elektrický proud. Podobně jako vakuum. Plynem může procházet elektrický proud, pouze pokud jsou přítomny elementární nosiče elektrického náboje, elektrony nebo ionty. V atmosférickém vzduchu je vždy malý počet iontů, takže vzduch není nikdy dokonalým izolantem [8].

Druhy výbojů

Doutnavý výboj

Nastává při nízkém tlaku, který se pohybuje přibližně mezi 1 Pa – 1000 Pa. Pro jeho vytvoření je třeba zdroje o malém výkonu (v obvodu je zapojen velký odpor). Proud se pohybuje řádově v desítkách miliampér. Nejčastěji vyplňuje celý průřez vrstvy plynu. Doutnavý výboj se používá nejčastěji u reklamních trubic nebo zkoušeček.

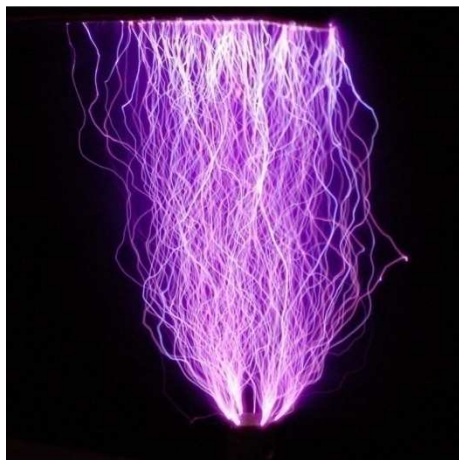


Obr. č. 7: Doutnavý výboj v neonové trubici

Jiskrový výboj

Jiskrový výboj nastává hlavně za atmosférického tlaku. I zde je potřeba k jeho vytvoření zdroj o malém výkonu. Jeho proud je ale větší než u doutnavého výboje. Pohybuje se řádově kolem jednotek ampér. U tohoto výboje přeskakují jiskry ve tvaru svítících vláken,

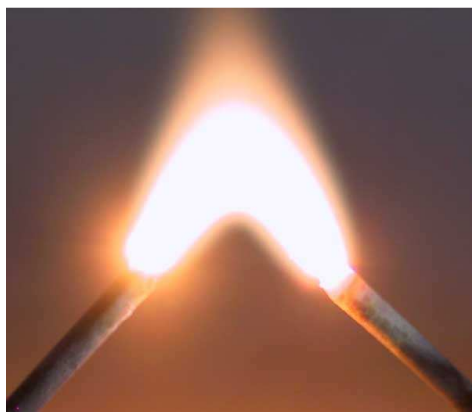
kteře jsou značně pokrřiveny a rozvětveny. Jiskrový výboj se využívá hlavně k zařehování motorů nebo obrábění tvrdých kovů v průmyslu.



Obr. č. 8: Jiskrový výboj

Oblouk

Obloukový výboj nastává u zdrojů s velkým výkonem. Proud se pohybuje mezi desítkami až stovkami ampér. Teplota oblouku roste se zvětřující se tlakem. Je charakteristický vysokou teplotou oblouku i elektrod a intenzivním vyzařováním světla. Tento jev má charakter zkratu v síti. Používá se hlavně k obloukovému svařování kovů.

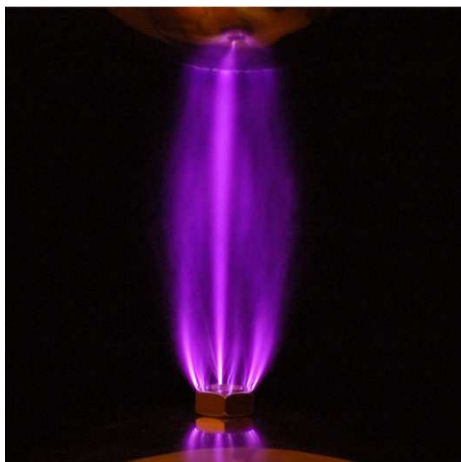


Obr. č. 9: Oblouk

Korona

Aby tento typ výboje mohl nastat, musejí mít elektrody malý poloměr zakřivení nebo musí být mezi elektrodami velká vzdálenost. Tento výboj probíhá jen na části prostoru mezi elektrodami. Jedná se vlastně o neúplný samostatný výboj. Vrstva vzduchu blízko elektrod je

vyplněna slabě svítivými vlákny nebo keříčky, barva je fialová. Využívá se hlavně v textilním průmyslu k úpravě povrchů [8].



Obr. č. 10: Korona

Ionizace

Aby mohla nastat ionizace neutrálního atomu, musí mu být z vnějšku dodána určitá energie. Tu nazýváme ionizační energií. Ionizační energie se u plynů pohybuje z pravidla od 3 eV do 25 eV. Největší je u netečných plynů a nejmenší u alkalických kovů [8].

$$W_i = e.U_i \quad (8)$$

Ionizační činidla

Nárazová ionizace: Pokud se srazí jakákoli částice hmotou m (elektron, ion nebo neutrální molekula) letící rychlostí v s neutrálním atomem nebo molekulou, tak může být výsledkem této srážky ionizace neutrálního atomu. Aby se toto stalo, musí být kinetická energie částice větší než ionizační energie daného plynu, tedy:

$$\frac{mv^2}{2} \geq W_i \quad (9)$$

Postupná ionizace: Pokud se elektron pohybuje s energií, která je menší než W_i , uvede atom do vzbuzeného stavu. Elektron, který pak letí za ním, předá při srážce již vzbuzenému atomu

zbytek energie potřebné k ionizaci. Tento druh ionizace nastává po dvou nebo několika za sebou následujících srážkách atomu s elektrony. Protože vzbuzený stav atomu trvá velice krátce, je třeba, aby proud dopadajících elektronů byl velmi intenzivní.

Fotonová ionizace: Jedná se o ionizaci způsobenou krátkovlnným zářením. Plyn se může ionizovat zářením kmitočtu ν s délkou vlny λ :

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \quad (10)$$

je-li splněna podmínka:

$$h\nu \geq W_i \quad (11)$$

tj.

$$\lambda \geq \frac{hc}{W_i} \quad (12)$$

Vlny takových délek, při kterých nastává ionizace, leží v ultrafialové části spektra, takže viditelné světlo prakticky neionizuje.

Tepelná ionizace: Jedná se o všechny ionizační pochody podmíněné tepelným stavem plynu. V plynu s vysokou teplotou jsou možné tyto způsoby ionizace.

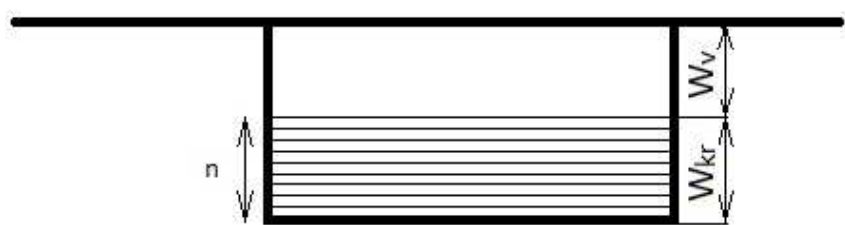
- *Ionizace při srážkách mezi molekulami plynu, které se při vysoké teplotě pohybují velkou rychlostí.*
- *Fotoelektrická ionizace tepelným zářením ohřátého plynu*
- *Ionizace při srážkách molekul s elektrony, které se v plynu vyskytují jako produkt prvních dvou pochodů*

Molekuly plynu se pohybují různými rychlostmi. Avšak pravděpodobnost, že existuje molekula s danou rychlostí je tím menší, čím více se tato rychlost liší od střední rychlosti. Při teplotě 20 °C je však pravděpodobnost ionizace tepelným pohybem velmi malá. Pravděpodobnost ionizace teplotou však pochopitelně značně vzrůstá s rostoucí teplotou.

Vzbuzení molekul se může dít při nižších teplotách než přímá ionizace. Srážkami mezi vzbuzenými molekulami nebo srážkami vzbuzených molekul s neutrálními může nastat ionizace (postupná tepelná ionizace) a počet ionizovaných částic plynu se může značně zvětšit.

Povrchová ionizace: Doposud jsme předpokládali, že se volné elektrony vytvořily ionizací plynu v prostoru mezi elektrodami. Elektrony se však mohou objevit i emisí z elektrod. Uvolňování elektronů z kovu má jinou povahu než jejich uvolňování z molekul plynu. I k tomuto uvolňování je však zapotřebí určitá energie.

Volné elektrony jsou v kovu v elektrickém poli krystalové mřížky, složené z kladných iontů. Elektrické pole krystalové mřížky je omezeno jen na prostor uvnitř kovu, v němž má určitý konstantní potenciál U_0 . Protože se pole tvoří kladnými ionty a náboj elektronu je záporný, má elektron uvnitř kovu zápornou potenciální energii rovnající se $W_0 = -eU_0$ a vně kovu se jeho potenciální energie rovná nule (pokud není v okolním prostoru elektrické pole). Elektrický potenciál elektronu je tedy větší vně než uvnitř kovu. Na povrchu proto musí existovat jakási potenciálová překrada, kterou elektron musí překonat, má-li z kovu vyjít. Protože jsou elektrony touto potenciálovou překradou obklopeny ze všech stran, jsou jakoby v potenciálové jámě s hloubkou U_0 a bez cizí pomoci nemohou toto místo opustit. Pokud budeme předpokládat, že potenciální energie elektronu uvnitř kovu je rovna nule, pak jeho potenciální energie mimo kov je kladná a rovna $+eU_0$. Celková energie pohybujícího se elektronu uvnitř kovu je tedy rovna potenciální energii (tu jsme zvolili rovnou nule) a jeho kinetické energii. Elektron přitom může mít v krystalové mřížce, stejně jako v atomu, pouze určité hodnoty energie tvořící nepřetržitou řadu.



Obr. č. 11: Hladina potenciální energie vně kovu
(n - hladiny energie, vyplněné elektrony při absolutní nule teploty)

Energie, kterou je třeba dodat:

$$W_v = eU_0 - W_{kr} \quad (13)$$

je výstupní práce elektronu. Velikost výstupní práce závisí na hloubce potenciálové jámy a je u každého kovu jiná. Velký vliv na velikost výstupní práce má také okysličení a nerovnosti povrchu. Energii, kterou kov potřebuje, aby elektron mohl vystoupit z kovu, lze dodat různými způsoby. Například ohříváním elektrody. Ohříváním se zvětšuje rychlost elektronů. Pokud překročí kinetická energie elektronu výstupní energii, může elektron přejít přes potenciálovou překradu.

Výstupní práce elektronů pro různé kovy

Kov	Výstupní práce [eV]
Sodík	2,28 - 2,12
Hliník	1,86 - 0,7
<u>Měď</u>	<u>4,82 - 3,89</u>
Stříbro	4,74 - 3,09
Zlato	4,90 - 4,33
Železo	4,79 - 3,92
Platina	6,30 - 3,63
<u>Kysličník měďnatý</u>	<u>5,34</u>

Ve své práci budu používat měděný drátek. Proto se zde výstupní práce elektronů bude pohybovat přibližně od 3,89 eV do 5,34 eV. Počítám s tím, že bude částečně pokrytý minimální vrstvou oxidu měďnatého [9].

Tepelná emise (termoemise)

Tepelná emise vzniká tehdy, pokud kovu dodáme pomocí tepla takovou energii, která umožní elektronům (iontům), aby unikly z iontové mřížky. Po emisi elektronu je kov nabit kladně a přitahuje Coulombovými silami elektrony, které ho opustily.

Elektronky jsou elektronická zařízení, která fungují na principu tepelné emise. Ta se zde používá hlavně proto, že je stabilní a závisí pouze na změně teploty. Katody u elektronek jsou zahřívány žhavicím proudem na požadovanou teplotu. Dále je ještě povrch katody upraven

nanesením vrstvy kovu s nízkou vstupní energií elektronů. Tím je zajištěno, že bude termoemise vznikat ve větším množství.



Obr. č. 12: Elektronky fungující na principu tepelné emise kovu.

Dielektrická pevnost

Pokud mezi dvě elektrody vložíme dielektrikum, představuje toto dielektrikum izolační elektrický odpor. Tento elektrický odpor se skládá z vnitřního odporu dielektrika a z povrchového odporu dielektrika. Tento odpor závisí hlavně na složení dielektrika a také na vlhkosti prostředí, kde se dielektrikum nachází. Dále pak odpor dielektrika závisí na intenzitě elektrického pole, čili velikost napětí vloženého mezi elektrody a také na době působení. Neexistuje dielektrikum, které by bylo dokonale nevodivé. Například transformátorový olej dosahuje vodivosti $\gamma = 10^{-4} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$.

Tabulka dielektrické pevnosti u různých materiálů

Látka	Dielektrická pevnost (MV/m)
<u>Vzduch</u>	<u>3</u>
Křemen	8
Titanát stroncia	8
Neoprenová pryž	12
Nylon	14
Sklo Pyrex	14
Silikonový olej	15
Papír	16
Bakelit	24
<u>Polystyren</u>	<u>24</u>
Teflon	60

Dielektrickou pevností izolujícího dielektrika se nazývá nejmenší hodnota intenzity elektrického pole, při které přestává izolační schopnost dielektrika. Jde-li o bezvadné a homogenní dielektrikum, které vložíme do bezvadného homogenního elektrického pole, nastává průraz současně v celém dielektriku.

U nehomogenního pole nastává průraz nejdříve v místě největších intenzit elektrického pole. Dielektrická pevnost se udává v MV/m. V mé práci bude jako dielektrikum použit vzduch, který má dielektrickou pevnost 3 MV/m [9],[10].

Průrazné napětí a Izolační odpor

Průrazným napětím se označuje nejmenší hodnota potenciálního rozdílu mezi dvěma elektrodami, při které nastane elektrický průraz dielektrika umístěného mezi těmito elektrodami. Nejmenší vzdálenost elektrod, pro kterou při daném napětí na elektrodách nastane elektrický průraz dielektrika, se nazývá kritická vzdálenost. Elektrický průraz obvykle nenastane hned, ale je k tomu potřeba určité doby, po kterou je dielektrikum před průrazem zatíženo [9].

Izolační odpor se udává v $\Omega \cdot m$. Tento odpor se zmenšuje většinou se vzrůstající teplotou, nebo vzrůstající vlhkostí. Podle tohoto odporu se dělí izolanty do izolačních tříd.

2. Můj úsudek

Protože síla Biefeld-Brownova efektu za atmosférického tlaku je z největší části závislá na ionizaci elektrickým polem v těsné blízkosti kolem kladné elektrody, domnívám se, že vzrůstající teplota kolem kladné elektrody vytvoří ohřátý vzduch, který jde mnohem lépe ionizovat. Proto si myslím, že síla Biefeld-Brownova efektu po zahřátí tenké elektrody určitě poroste. Dále se domnívám, že termoemise se neprojeví hned na začátku měření, ale až když bude drátek rozžhaven do rudé barvy. Termoemise by měla sílu Biefeld-Brownova efektu zvětšit, protože bude docházet k uvolňování elektronů a podpoří se tím samotná ionizace. To by mělo být vidět na naměřených hodnotách, protože ionizace bude vznikat hned od začátku měření, ale termoemise začne vznikat až hodně vyžhaveným drátkem. Ve výsledku tedy počítám, že termoemise bude mít velmi malý vliv na velikost síly Biefeld-Brownova efektu, protože ionizace bude vznikat v mnohem větším měřítku, než samotná termoemise.

3. Tvorba přípravku a měření

3.1. Konstrukce regulátoru teploty drátku

V této kapitole se budu zabývat konstrukcí zařízení, kterým budu plynule regulovat teplotu drátku o průměru 0,2 mm. Toto zařízení bude muset dokázat udržet konstantní teplotu na celé délce drátku po celou dobu měření.

Žhavení průchodem elektrického proudu

Nejdříve jsem se musel rozhodnout, jakým způsobem budu drátek zahřívat. Protože jsem potřeboval mít konstantní teplotu po celé délce drátku, rozhodl jsem se pro zahřívání pomocí zdroje elektrického proudu. To mi mělo zaručit plynulou změnu teploty a hlavně to, že teplota bude stejná po celé délce drátku. To byl hlavní důvod, proč jsem si pro ohřev drátku vybral elektrický proud.

Dále jsem musel zajistit, aby zařízení pro řízení teploty drátku nepřišlo do styku s napětím v síti. To proto, že by mělo stejnou zem jako generátor vysokého napětí. Po připojení regulátoru k vysokému napětí by pak nastalo jeho zničení z důvodu nedostatečné izolační schopnosti transformátoru zdroje proudu. Proto jsem si nyní musel vybrat. Buď sehnat zdroj

napájený ze sítě, který bude mít transformátor s izolační schopností 19 kV, nebo použít plovoucí zdroj proudu. Proto jsem se rozhodl, že budu vytvářet zařízení pro změnu teploty drátku s plovoucím zdrojem. Jako zdroj proudu jsem si vybral akumulátor.

Měření teploty drátku

Původně jsem měl v plánu měřit teplotu termokamerou nebo pyrometrem. Nastal ovšem problém s velmi vysokou teplotou drátku. Termokamery byly schopny měřit maximální teplotu přibližně do +200 °C. Moje teplota se mohla pohybovat až k 1500 °C (přetavení drátku), a to by mi termokamera nenaměřila.

Naopak pyrometry, co jsem si našel, sice dokázaly měřit velice vysoké teploty až do 3500 °C, ale nastal zde jiný problém. Drátek, který používám k ohřevu, má průměr 0,2 mm. A byl by pro měření pyrometrem příliš tenký.

Z tohoto důvodu jsem se rozhodl, že místo teploty budu raději měřit proud protékající drátkem. Čím vyšší bude teplota drátku, tím vyšší bude i proud, který označím I_F .

Výběr akumulátoru

Nejdříve jsem se rozhodl vyzkoušet, jaká kapacita akumulátoru bude potřeba. Jako první jsem zkusil zahřát drátek pomocí akumulátoru s maximálním napětím 9V a s kapacitou 800mAh. Na drátku nebyl znát žádný ohřev.

Jako další jsem se rozhodl, že zapojím tyto dva stejné akumulátory do série, ale drátek byl stále chladný. Nakonec jsem se rozhodl zakoupit olověný akumulátor s těmito parametry - maximální napětí 12 V a kapacita 1,2 Ah. Po připojení se drátek okamžitě rozžhavl a přetavil. Tento akumulátor mi tedy výkonově vyhovoval. Při návrhu regulace teploty jsem však zjistil, že tento akumulátor vydrží zatížení pouze velmi krátkou dobu a teplota při poklesnutí jeho napětí kolísá. Aby moje výsledky nemohly být tímto ovlivněny, rozhodl jsem se pro jiný.



Obr. č. 13: Akumulátor - Faston 187, $U=12\text{ V}$, $C=1,2\text{ Ah}$, který drátek sice přetavil, ale nebyl schopený dodávat konstantní výkon po celou dobu měření

Jako další mě napadlo použít autobaterii, která by mi určitě dodala potřebnou kapacitu. Nakonec se mi ale podařilo vypůjčit z laboratoře akumulátor GWL POWER, který měl maximální napětí také 12 V, ale na rozdíl od minulého akumulátoru mi zajišťoval již dostatečnou kapacitu. Dále byl tento akumulátor oproti autobaterii velice lehký a skladný.



Obr. č. 14: Akumulátor GWL POWER, který jsem použil k návrhu a realizaci zařízení pro řízení teploty drátku.

Parametry akumulátoru GWL POWER

Maximální napětí: 12 V

Nabíjecí napětí: 14,6 V

Počet nabíjení: >1000

Maximální proud (<5sec) : 34 A

Minimální napětí: 10 V

Minimální kapacita: 16,2 Ah

Návrh řízení teploty

Doma jsem ze zesilovače použil několik různých výkonových odporů a ještě jsem si nějaké zakoupil. Za pomoci jejich kombinací jsem si pokaždé vytvořil odpor a zapojil ho sériově s drátkem. Jako první jsem připojil odpor $10\ \Omega$ a připojil jsem drátek. Rukou jsem se dotkl drátku, ten ale zůstal studený. Postupně jsem si vytvářel stále nižší odpor a zjišťoval jsem, kdy se drátek začne zahřívat. Když jsem připojil odpor o velikosti $3\ \Omega$, zjistil jsem, že se drátek nepatrně zahřál.

Původně jsem měl v plánu, že pomocí kombinací odporů budu plynule zvětšovat teplotu drátku. Zjistil jsem ale, že regulace musí být hodně jemná. Nyní jsem měl dvě možnosti. Buď sehnat větší množství odporů, se kterými budu plynule regulovat teplotu, což by bylo velice zdoluhavé a nepřesné, nebo sehnat reostat. Nakonec se mi podařilo sehnat drátový reostat o odporu $R=3\ \Omega$ a maximální dovolený protékající proud $I=13\ \text{A}$. Parametry reostatu mi vyhovovaly, proto jsem se nemusel obávat o jeho poškození kvůli vysokému protékajícímu proudu.



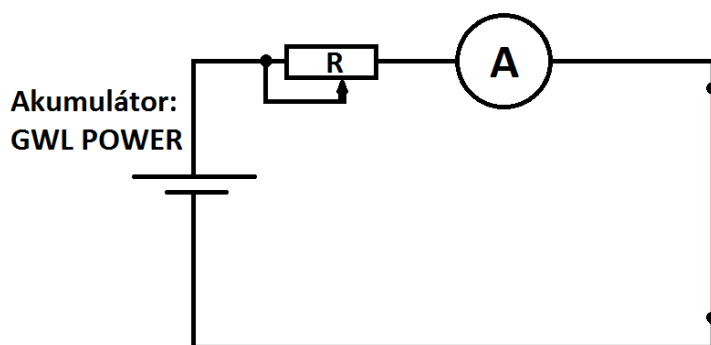
Obr. č. 15: Reostat, který jsem použil k plynulému řízení teploty.

Konečný model pro řízení teploty drátku

Do celého obvodu jsem ještě zapojil multimetr Agilent U1252B, který mi bude měřit proud I_F protékající drátkem.



Obr. č. 16: Ampérmetr Agilent U1252B, kterým jsem měřil žhavicí proud I_F .



Obr. č. 17: Konečný model pro regulaci teploty drátku.

Výběr vhodného drátku

Původně jsem chtěl používat měděný drátek o průměru 0,2 mm. Jak se ale ukázalo z předchozích měření, měď jako materiál pro moje měření nevyhovovala. Největší nevýhodou byla její velice rychlá oxidace a teplota tání, která se pohybovala kolem 1000 °C.

Proto jsem se rozhodl dále pro svoje měření používat drátek o stejném průměru, ale z jiného materiálu. Rozhodl jsem se pro nerez. Nerez je vlastně korozivzdorná ocel. Jedná se o slitinu železa a uhlíku, kde se navíc vyskytují v malém zastoupení prvky jako je nikl, chróm a mangan. Díky tomu drátek téměř neoxidoval a jeho teplota tání byla téměř dvojnásobná – cca 1500 °C.



Obr. č. 18: Drátek z nerezové oceli, který jsem použil k finálnímu měření.

3.2. Konstrukce modelu pro měření síly Biefeld-Brownova efektu

Návrh modelu

Aby model správně fungoval, musel jsem jeho kostru zkonstruovat tak, aby fungovala jako skvělé dielektrikum a dokázala odolat teplotám, které mohou přesáhnout i 1000 °C.

Nakonec jsem se rozhodl, že použiji jako kostru tyčky ze skla. Sklo má teplotu tání přibližně kolem

1500 °C, proto jsem se rozhodl, že drátek podložím kovovou folií, která mi zaručí rovnoměrné rozložení tepla, a sklo mi díky tomu nepopraská. Jak jsem použil kovovou folii k rovnoměrnému rozvodu tepla je vidět na Obr. č. 19 dole.



Obr. č. 19: Detail upevnění kostry modelu do stojanu a podložení drátku kovovou folií, kvůli rovnoměrnému rozložení tepla.

Skleněné tyčky jsem dále upevnil do polystyrenového stojanu, který mi sloužil jako ochrana digitální váhy před vysokým napětím.

Pro měření síly, jsem potřeboval použít takovou váhu, která dokáže změřit velice malou hmotnost, řádově až 0,001 g. Zvolil váhu KERN PEJ 620-3M s citlivostí 0,001 g. Maximální měřitelná hmotnost byla až do 620 g. Na této váze jsem pak měřil rozdíl hmotnosti Δm . Pro získání síly mi pak stačilo Δm vynásobit gravitační konstantou a získal jsem vzniklou sílu. Můj model jsem vytvářel tak, aby hmotnost 620 g nepřesáhl.



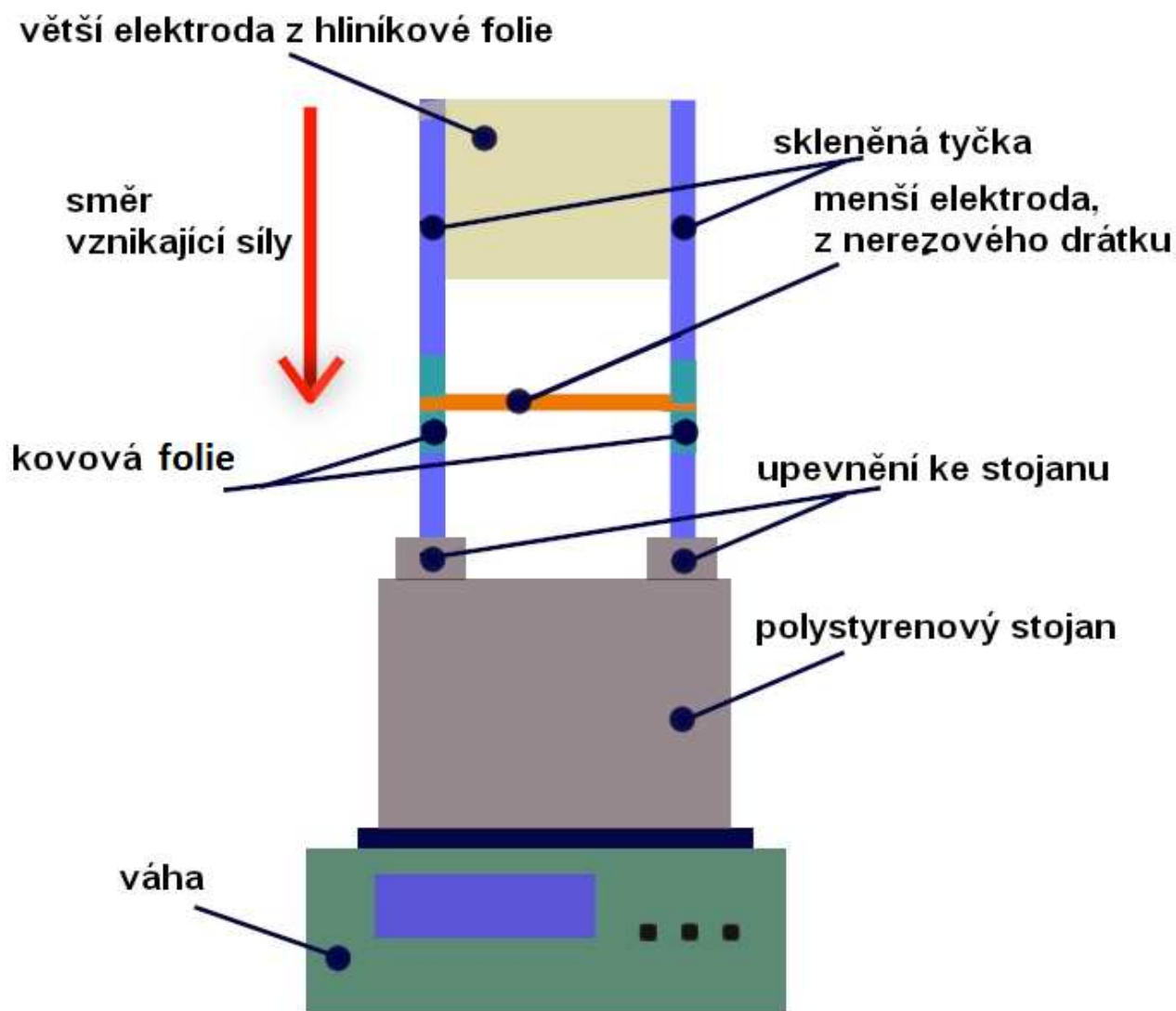
Obr. č. 20: Váha PEJ 620-3M, kterou jsem používal při měření rozdílu hmotnosti Δm na mém modelu.

K napájení mého modelu jsem použil regulovatelný vysokonapětový zdroj Glassman high voltage, kterým mohu regulovat napětí až do velikosti 50 kV. Maximální nastavitelný proud je 10 mA.



Obr. č. 21: Regulovatelný vysokonapětový zdroj Glassman high voltage, který jsem použil při měření

S konstrukcí modelu pro měření síly jsem žádné problémy neměl. Po jeho dokončení jsem na menší elektrodu připojil svorkou kladného napětí z generátoru a větší elektrodu jsem připojil na zem. Začal jsem zvyšovat napětí. Při napětí kolem 15 kV byl vidět jasný úbytek hmotnosti. Model pro měření síly při Biefeld-Brownově efektu byl tedy v pořádku. Jak vypadala finální verze modelu pro měření síly při Biefeld-Brownově efektu je vidět na blokovém schématu viz obr. č. 19.



Obr. č. 22: Blokové schéma finální podoby mého modelu pro měření síly při Biefeld-Brownově efektu.

Směr síly

Při konstrukci jsem model stavěl tak, aby síla tlačila na váhu. Toto jsem udělal z jediného důvodu. Protože při Biefeld-Brownově efektu vzniká i iontový (elektrický) vítr. Ten by mi způsobil znehodnocení výsledků, protože by narážel na stojan a způsobil by vlastní sílu. Tato síla by mi pak výsledek měření zkreslila. Protože jsem směr síly modelu zvolil opačně, síla, která vzniká vlivem iontového větru, je téměř nulová.

Finální podoba modelu

Po vyřešení všech problémů jsem na drátek připojil svůj obvod na regulaci teploty a mohl jsem začít měřit.



Obr. č. 23: Finální model pro měření síly při Biefeld-Brownově efektu v závislosti na změně teploty menší elektrody (drátku).

3.3. Měření vznikající síly při Biefeld-Brownově efektu v závislosti na změně teploty drátku

První měření

Když jsem poprvé k modelu pro řízení teploty připojil drátek, zjistil jsem, že se teplota drátku nemění. Zjistil jsem, že je to příliš velkými přechodovými odpory, které se mi vytvořily, protože jsem drátek neměl z jednoho kusu.

Proto jsem drátek vyměnil za nový, který byl z jediného kusu. Nyní byl ohřev drátku v pořádku.

Druhé měření

Nyní, když můj obvod pro regulaci teploty fungoval správně, připojil jsem na model vysoké napětí, které jsem začal pomalu zvyšovat. Úbytek hmotnosti na váze nebyl. Nejdříve jsem si myslel, že mohlo dojít k poničení modelu. Po bližším prozkoumání jsem zjistil, že je to krokodýlky, které jsem používal pro připojení vysokého napětí a regulátoru teploty. Bylo to proto, že jsem je zapojil příliš blízko u mého měřicího modelu. A protože měřím velice malou sílu, která se řádově pohybuje v mN, musí mít všechno, co je připojené k modelu velice malou tuhost. Protože byly elektrické přívody příliš tuhé, vytvořilo se jakési zaklínění modelu a já jsem žádnou sílu nenaměřil. Toto jsem vyřešil tak, že jsem žhavený drátek, který má velice malou tuhost prodloužil a krokodýlky jsem posunul co nejdál od modelu. Nyní jsem mohl bez problému začít měřit.

Finální měření

Když se mi podařilo vyřešit všechny problémy z předchozích měření, zapojil jsem do obvodu ampérmetr pro měření výstupního proudu (I_{out}) a ampérmetr pro měření ohřevného proudu drátku (I_F).

Postup měření

Měření jsem prováděl v několika krocích. Měření jsem neopakoval, protože reostat byl nastavován ručně a nebylo možno ho podruhé přesně nastavit na tutéž hodnotu. Postupoval jsem v těchto krocích:

- Nastavení reostatu na požadovanou hodnotu
- Změření ohřevného proudu I_F
- Ustálení teploty drátku
- Zapnutí vysokonapěťového generátoru
- Změření Δm na váze KERN PEJ 620-3M

Měření jsem prováděl při konstantním napětí, které jsem nastavil na 19 kV. Proudovou pojistku zdroje jsem nastavil na 3 mA.



Obr. č. 24: Detail měření při ohřevném proudu $I_F = 1,9$ A, ukazující drátek při maximální teplotě.

3.4. Naměřené hodnoty z měření

Rozdíly hmotnosti Δm , jsem po změření zapsal do tabulky 3.1. Rozdíl hmotnosti Δm jsem pak vynásobil gravitačním zrychlením $g=9,8\text{ ms}^{-2}$, abych vypočítal vznikající sílu F .

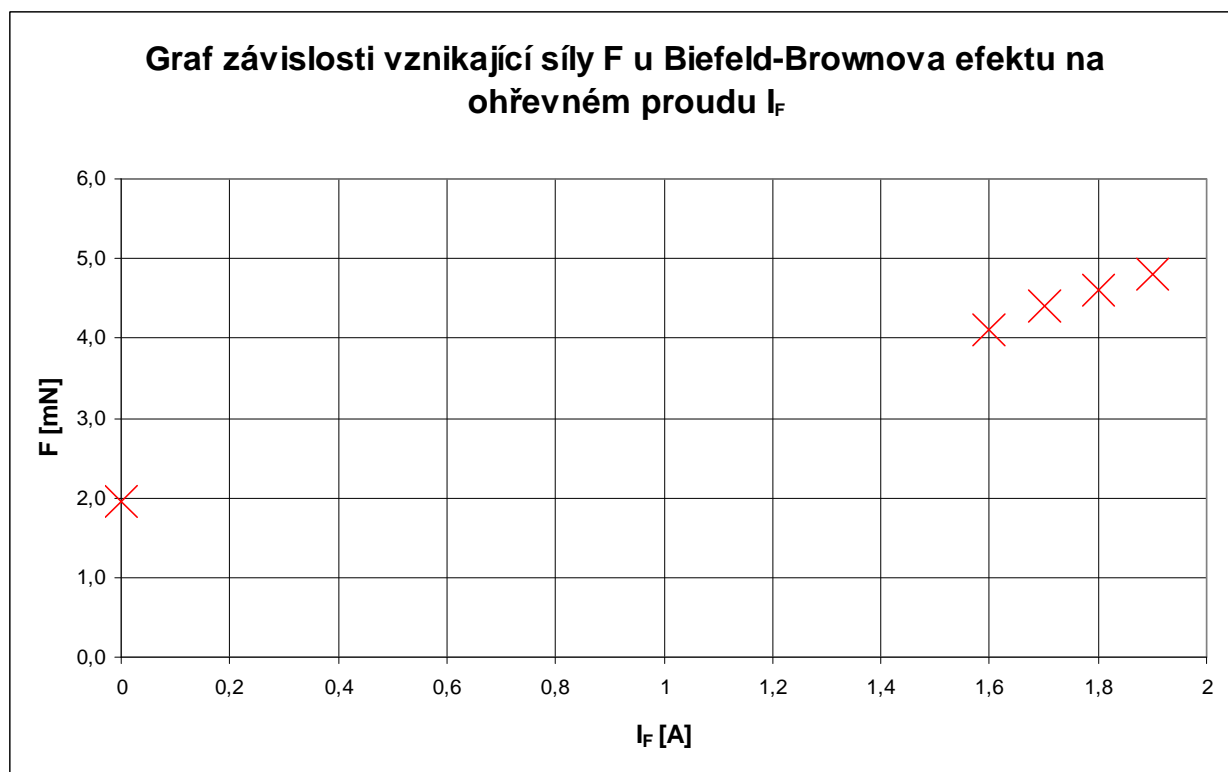
$$F = \Delta m \cdot g \quad (14)$$

První hodnotu jsem naměřil bez ohřevu při pokojové teplotě, která byla 25 °C. Poslední hodnotu jsem naměřil při žhavicím proudu $I_F = 1,9\text{ A}$, protože při vyšším žhavicím proudu I_F začal vznikat tak silný iontový vítr, že dokázal můj drátek zchladit víc, než můj obvod pro řízení teploty zahřát.

Tabulka 3.1 - Výsledky z finálního měření			
Δm [g]	F_g [mN]	I_{out} [μA]	I_F [A]
0,20	1,96	20	0
0,42	4,12	53	1,6
0,45	4,41	55	1,7
0,47	4,61	57	1,8
0,49	4,80	62	1,9
-	-	67	2

V tabulce 3.1 je patrné, že po připojení žhavicího proudu $I_F = 1,6\text{ A}$ se vznikající síla víc než zdvojnásobila. Protože se síly Biefeld-Brownova efektu pohybují řádově v jednotkách mN, je toto zvětšení hodně znát. Bylo by ho možno využít na konstrukci podstatně menšího zařízení, které by díky ohřevnému proudu disponovalo stejnou silou, jako zařízení podstatně větší.

Další zvětšování žhavicího proudu pak už vznikající sílu F zvyšovalo jen nepatrně.



Graf 1 – Graf závislosti vznikající síly F u Biefeld-Brownova efektu na ohřevném proudu I_F

4. Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval vlivem termoemise na velikost síly Biefeld-Brownova efektu. Nejdříve jsem se seznámil s fyzikálními pojmy, které se týkají Biefeld-Brownova efektu a termoemise. Z nich jsem poté vytvořil rešerši. Dále jsem vytvořil hypotézu, ve které jsem se díky rozšířeným znalostem, které jsem získal ze své rešerše, pokusil odhadnout, jaký bude mít vliv termoemise na velikost síly Biefeld-Brownova efektu. Pro měření jsem zrealizoval kompletní měřicí přípravek, který se skládá z modelu pro měření síly Biefeld-Brownova efektu a zapojení pro řízené regulování teploty tenké elektrody.

Na vyrobeném přípravku jsem provedl měření, na základě kterého jsem zjistil, že teplota tenké elektrody má velký vliv na velikost síly, která vzniká při Biefeld-Brownově efektu. Svoje tvrzení z mého úsudku, že síla poroste, můžu určitě potvrdit.

Další tvrzení z mého úsudku, že termoemise má malý vliv, nemůžu zcela potvrdit. Z hodnot, které jsem naměřil, je vidět, že nárůst síly je až do žhavení elektrody žhavicím proudem $I_F = 1,62$ A téměř lineární. Poté se už síla mění jen opravdu minimálně. Kdyby nárůst síly byl způsoben termoemisí, tak by síla pravděpodobně v téměř lineárním nárůstu pokračovala. Z grafu je ale patrné, že při ohřevném proud $I_F = 1,62$ A se síla téměř zastaví. To může být způsobeno tím, že se dosáhlo maximální ionizace v blízkosti tenké elektrody a síla rostla už jen minimálně proto, že se cirkulací do její blízkosti dostával vzduch, který šel opět ionizovat. Nebo je zde možnost, že se dosáhlo maximální ionizace v blízkosti tenké elektrody a hodnota nepatrného vzrůstu síly je způsobena samotnou termoemisí tenké elektrody.

Jak už víme z teoretické rešerše, je síla Biefeld-Brownova efektu z největší části závislá na ionizaci v blízkosti tenké elektrody. Protože jsem tenkou elektrodu zahřál, vznikl v její těsné blízkosti válec teplého vzduchu. Teplý vzduch jde mnohem lépe ionizovat, proto síla Biefeld-Brownova efektu vzrostla. Zde bych chtěl ještě poukázat na to, že o vzniku síly při Biefeld-Brownově efektu je celá řada teorií. Mé měření jasně dokázalo a opět potvrdilo, že Biefeld-Brownův efekt je způsoben pohybem iontů.

Použitá literatura

[1] Mechlová, E. *Výkladový slovník fyziky pro základní vysokoškolský kurz*, Prométheus, 1999. ISBN 80-7196-151-5.

[2] Bláhovec, A. *Elektrotechnika I*. Informatorium, 2002. ISBN 80-7169-608-0.

[3] NASA; *Apparatus and Method for generating a thrust using a two dimensional asymmetrical capacitor module*. U. S. patent č. 2002012221, 2002.

[4] Primas, J. *Elektrické vlastnosti vysokonapěťového kondenzátoru s asymetrickými elektrodami*. Diplomová práce, TUL 2008.

[5] O elektronice a vysokém napětí – *Levitující kondenzátor* [online] . [cit. 2012-01-11]
URL:<<http://elektronik.webz.cz/vysoke-napeti/lifter.html>>

[6] Rost, M. – Hubata, V. - Vacek, V. - Smolka, J. - Valta, A. *Biefeld-Brownův efekt* - Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1
URL:< <http://fyzika.fjfi.cvut.cz/Akce/FS/2005-2006/Zima05/proc/BBefekt.pdf>>

[7] Termoemise [online] . [cit. 2012-01-11]
URL:<<http://cernotik.blog.idnes.cz/c/157154/Nobelova-cena-28-Tepelna-emise-elektronu.html>>

[8] Sirotinský, L. *Technika vysokého napětí*, Praha 1956

[9] Petržílka, V. *Elektrina a magnetismus*, Praha – Přírodovědecké nakladatelství 1953

[10] Dielektrická pevnost [online]. [cit. 2012-01-11]
URL:< http://cs.wikipedia.org/wiki/Dielektrická_pevnost>

[11] Brown, T. T.; *Elektrokinetic Apparatus*. U.S. patent č. 2949550, 1960.

Použité obrázky

Obr. č. 1: Elektrické pole dvou nesouhlasných nábojů

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f6/Silocary_2naboje_ruzne.svg

Obr. č. 2: Graf závislosti polarizace Seignettovy soli

Primas, J. Elektrické vlastnosti vysokonapětového kondenzátoru s asymetrickými elektrodami. Diplomová práce 2008.

Obr. č. 3: Deskový kondenzátor

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/62/Kondenzator_deskovy_silocary.svg

Obr. č. 4: Schéma kondenzátoru a směr vznikající síly

Příloha na CD

Obr. č. 5: Model elektro-kinetického zařízení

Primas, J. Elektrické vlastnosti vysokonapětového kondenzátoru s asymetrickými elektrodami. Diplomová práce 2008.

Obr. č. 6: Vznik iontového větru na ostrých hranách

Primas, J. Elektrické vlastnosti vysokonapětového kondenzátoru s asymetrickými elektrodami. Diplomová práce 2008.

Obr. č. 7: Doutnavý výboj v neonové trubici

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Neon-glow.jpg>

Obr. č. 8: Jiskřivý výboj

<http://zajfyz.physics.muni.cz/obrazky/jiskry2009/vel/vel4.jpg>

Obr. č. 9: Oblouk

http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Lichtbogen_3000_Volt.jpg

Obr. č. 10: Korona

<http://zajfyz.physics.muni.cz/obrazky/jiskry2009/vel/vel2.jpg>

Obr. č. 11: Hladina potenciální energie vně kovu

Příloha na CD

Obr. č. 12: Elektronky fungující na principu tepelné emise kovu.

<http://www.alfaelektronky.wz.cz/teorie/elektr.html>

Obr. č. 13: Akumulátor, který jsem použil k návrhu regulaci teploty

<http://eshop.fulgurbattman.cz/produkt/baterie-akumulatory/baterie-akumulatory-prumyslove/prumyslove-olovene/zivotnost-5-9let/olovene-12v/ct-12-1-2-12v-1-2ah-faston-187-2561.htm>

Obr. č. 14: Akumulátor GWL POWER, který jsem použil k návrhu a realizaci zařízení pro řízení teploty drátku

Příloha na CD

Obr. č. 15: Reostat, který jsem použil k plynulému řízení teploty.

Příloha na CD

Obr. č. 16: Ampérmetr Agilent U1252B, kterým jsem měřil žhavicí proud I_F .

Příloha na CD

Obr. č. 18: Drátek z nerezové oceli, který jsem použil k finálnímu měření.

<http://www.koralek-obchod.cz/eshop/cs/dratky/dratky-nerez-med-mosaz/dratek-nerezovy-0-2-mm-delka140m-214.html>

Obr. č. 19: Detail upevnění kostry modelu do stojanu a podložení drátku kovovou folií, rovnoměrnému rozložení tepla.

Příloha na CD

Obr. č. 20: Váha PEJ 620-3M, kterou jsem používal při měření rozdílu hmotnosti Δm na mém modelu

http://www.hepnar.cz/shop/index.php?main_page=product_info&products_id=827

Obr. č. 21: Regulovatelný vysokonapěťový zdroj Glassman high voltage, který jsem použil při měření

<http://www.shef.ac.uk/eee/research/emd/facilities/psu>

Obr. č. 22: Blokové schéma finální podoby mého modelu pro měření síly při Biefeld-Brownově efektu.

Příloha na CD

Obr. č. 23: Finální model pro měření síly při Biefeld-Brownově efektu v závislosti na změně teploty menší elektrody (drátku).

Příloha na CD

Obr. č. 24: Detail měření při ohřevném proudu $I_F = 1,9A$, ukazující drátek při maximální teplotě.

Příloha na CD

Graf 1 – Graf závislosti vznikající síly F u Biefeld-Brownova efektu na ohřevném proudu

I_F

Příloha na CD

Použité vzorce

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{r^2} \quad (1)$$

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{\vec{F}(\vec{r})}{Q} \quad (2)$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \quad (3)$$

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (4)$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 E_0 = \epsilon \vec{E} \quad (5)$$

$$C = \frac{Q}{\phi} \quad (6)$$

$$C = \frac{Q}{\phi_1 - \phi_2} = \frac{Q}{U} \quad (7)$$

$$W_i = e \cdot U_i \quad (8)$$

$$\frac{mv^2}{2} \geq W_i \quad (9)$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (10)$$

$$h\nu \geq W_i \quad (11)$$

$$\lambda \geq \frac{hc}{W_i} \tag{12}$$

$$W_v = eU_0 - W_{kr} \tag{13}$$

$$F = \Delta m . g \tag{14}$$